

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 10-294499

(43)Date of publication of application : 04.11.1998

(51)Int.Cl.

H01L 39/22  
G01R 33/035  
H01L 39/24

(21)Application number : 09-115354

(71)Applicant : SUMITOMO ELECTRIC IND LTD

(22)Date of filing : 17.04.1997

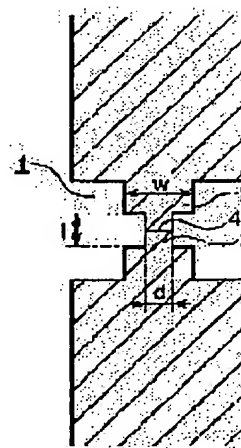
(72)Inventor : HISAGAI YUICHI  
ITOZAKI HIDEO

## (54) SQUID AND MANUFACTURE THEREFOR

## (57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a structure of superconducting quantum interference device(SQUID) and a manufacturing method thereof which can narrow the width of an artificial grain boundary type Josephson junction of the SQUID.

SOLUTION: This superconducting quantum interference device (SQUID) is formed by the artificial grain boundary whose Josephson junction uses an oxide superconducting thin film. The bridge 1 of the Josephson junction has two parts of different width: a part 2 has a wider width (w) (where  $1\ \mu\text{m} \leq w \leq 50\ \mu\text{m}$ ) and a part 3 has a narrower width (d) (where  $0.1\ \mu\text{m} \leq d \leq 1\ \mu\text{m}$ ). This SQUID is made by a first step in which the Josephson junction is photolithographed to form the bridge and by a second step in which the bridge is etched by converging ion beams to form the narrow part.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

03.09.2003

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C): 1998,2003 Japan Patent Office

## \* NOTICES \*

JPO and NCIPJ are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\*\* shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

---

CLAIMS

---

[Claim(s)]

[Claim 1] SQUID characterized by forming the Josephson junction of the artificial grain boundary using an oxide superconductivity thin film, and the width of face of the bridge of the Josephson junction being narrow in two steps.

[Claim 2] the time of having set width of face of the broad part of said bridge to w, setting width of face of the narrow part of said bridge to d, and setting die length to t --  $1\text{ }\mu\text{m} \leq w \leq 50\text{-micrometer}$   $0.2\text{ micrometer} \leq d < -1\text{-micrometer}$   $0.1\text{ micrometer} \leq t < -$  SQUID according to claim 1 characterized by being 2 micrometers.

[Claim 3] SQUID according to claim 1 or 2 to which the Josephson junction is characterized by being formed using artificial grain boundaries, such as a level difference mold, a bicrystal substrate mold, a BAIEPITAKISHARU mold, and a lamp edge mold.

[Claim 4] In the manufacture approach of SQUID that the Josephson junction is formed of the artificial grain boundary using an oxide superconductivity thin film As opposed to the 1st step which forms the bridge section which processes the Josephson junction section by the photolithography and has predetermined width of face (w), and said processed bridge section The manufacture approach of SQUID characterized by having the 2nd step which forms the narrow part which has predetermined width of face (d) smaller than said width of face by etching and processing a flank middle by the convergence ion beam, without cooling.

[Claim 5] The manufacture approach of SQUID according to claim 4 that the Josephson junction is characterized by being formed using artificial grain boundaries, such as a level difference mold, a bicrystal substrate mold, a BAIEPITAKISHARU mold, and a lamp edge mold.

---

[Translation done.]

## \* NOTICES \*

JPO and NCIP are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\* shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

## DETAILED DESCRIPTION

## [Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] This invention relates to SQUID formed of the artificial grain boundary where the Josephson junction used the oxide superconductivity thin film for the detail more, and its manufacture approach about SQUID (Superconducting Quantum Interference Device : superconducting quantum interference device) and its manufacture approach.

[0002]

[Description of the Prior Art] This type of SQUID is usually produced using an oxide superconductivity thin film by forming the Josephson junction using artificial grain boundaries, such as a level difference mold, a bicrystal substrate mold, a BAIEPITAKISHARU mold, and a lamp edge mold. Moreover, as shown in drawing 1, as for SQUID with the Josephson junction of such an artificial grain boundary mold, it is common to form the bridge B which processes the oxide superconductivity thin film F, processes the oxide superconductivity thin film F with techniques, such as a photolithography, and includes the artificial grain boundary A.

[0003] On the other hand, the modulation electrical potential difference  $V_{pp}$  of SQUID as explained to "J.Appl.Phys 73 (11)" p.7929-7934 (1993 American Institute of Physics) What is shown by the following formula is known. :  $V_{pp} = (7/\pi^2) [I_c R_n / (1 + \beta)] [1 - 3.57 (k_B T_L) / (2 \phi_0)]$  (1) here  $I_c$ ; the critical current of the Josephson junction, usual state electrical conduction resistance of  $R_n$ ; Josephson junction,  $k_B$  ; A Boltzmann's constant,  $T$  ; Temperature,  $L$  ; The inductance of SQUID,  $\phi_0$  ; A fluxoid quantum and  $\beta = 2 L I_c / \phi_0$ .

[0004] When the product  $I_c R_n$  of critical current  $I_c$  and the usual state electrical conduction resistance  $R_n$  is fixed and usual state electrical conduction resistance  $R_n$  is generally enlarged, the modulation electrical potential difference  $V_{pp}$  becomes large. Therefore, if thickness is set constant and width of face of the Josephson junction is narrowed, the modulation electrical potential difference  $V_{pp}$  will become large, and a property will become good ["Appl.Phys Lett.66 (22)" p.3059-3061 (1995 American Institute of Physics)].

[0005] Thus, in order to obtain SQUID of the request with the large modulation electrical potential difference  $V_{pp}$  and a good property, it is necessary to make bridge width of face narrow enough and to make it smaller than 1 micrometer typically. However, it is very difficult to make bridge width of face of the artificial grain boundary mold Josephson junction smaller than 1 micrometer in micro processing of the oxide superconductivity film by the photolithography.

[0006] Then, it is possible to use the convergence ion beam (FIB:Focused Ion Beam) which can perform detailed processing. For example, processing it into "J.Vac.Technol.B 13(6)" p.2772-2776 (1995 American Vacuum Society) so that bridge width of face may be narrowed by this FIB is shown. However, there is no artificial grain boundary in this bridge.

[0007] Moreover, although it is possible, in FIB processing of an oxide superconductivity thin film, it is necessary to change it into the condition of having lowered the thin film sample to low temperature, and having cooled conventionally in order to lessen the damage which the etching circumference part of a thin film receives to make bridge width of face smaller than 1 micrometer by performing micro processing using FIB.

[0008]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] Then, the purpose of this invention is to offer the structure and the manufacture approach of SQUID which can make width of face of this Josephson junction smaller than 1 micrometer, without facing performing FIB processing narrowing width of face of the Josephson junction of SQUID, and cooling a sample.

[0009]

[Means for Solving the Problem] For this purpose, according to this invention, the Josephson junction is formed of the artificial grain boundary using an oxide superconductivity thin film, and SQUID to which the width of face of the bridge of the Josephson junction is narrow in two steps is offered.

[0010] when SQUID offered by this invention set width of face of the broad part of a bridge to  $w$  typically, and width of face of the narrow part of said bridge is set to  $d$  and it sets die length to  $t$ , as for these range, it is desirable to be referred to as  $1.2 \text{ micrometer} \leq w \leq 50 \text{ micrometer}$ ,  $0.2 \text{ micrometer} \leq d \leq 1 \text{ micrometer}$ ,  $0.1 \text{ micrometer} \leq t \leq \text{---}$

[0011] Furthermore, if this invention is followed, although SQUID in which the Josephson junction is formed of an artificial grain boundary using an oxide superconductivity thin film will be manufactured As opposed to the 1st step which forms the bridge section which processes the Josephson junction section by the photolithography and has

predetermined width of face (w), and said processed bridge section By etching and processing a flank middle by the convergence ion beam, without cooling The 2nd step which forms the narrow part which has predetermined width of face (d) smaller than said width of face is used, and SQUID to which the width of face of the bridge of the Josephson junction is narrow by these steps in two steps is obtained.

[0012] Moreover, in SQUID of this invention, the Josephson junction is formed using artificial grain boundaries, such as a level difference mold, a bicrystal substrate mold, a BAIEPITAKISHARU mold, and a lamp edge mold.

[0013]

[The description of invention] The configuration of the Josephson junction by one example of SQUID of this invention is shown in drawing 2. As mentioned above, SQUID of this invention is formed of the artificial grain boundary where the Josephson junction used the oxide superconductivity thin film. That is, the Josephson junction is formed using artificial grain boundaries, such as a level difference mold, a bicrystal substrate mold, a BAIEPITAKISHARU mold, and a lamp edge mold, using an oxide superconductivity thin film. In SQUID of this invention, in SQUID with the Josephson junction of such an artificial grain boundary mold, as shown in drawing 2, width of face is narrow in two steps, and the bridge 1 of this Josephson junction has changed to the broad partial 2 list which has width of face w from the narrow part 3 which has width of face d and die-length t, and has the artificial grain boundary 4 into the narrow part 3. and such width of face w and d and die-length t — above-mentioned range, 1 [ i.e., ],  $\mu\text{m} \leq w \leq 50\text{-micrometer}$   $0.2 \text{ micrometer} \leq d < 1\text{-micrometer}$   $0.1 \text{ micrometer} \leq t < 2 \text{ micrometers}$  is suitable.

[0014] In SQUID of this invention, by making width of face of the bridge 1 of the Josephson junction narrow to two steps in this way, junction width of face d can be made sufficiently [ as possible ] narrow, for example, the Josephson junction of junction width of face smaller than 1 micrometer can be obtained, the modulation electrical potential difference Vpp of SQUID shown in (1) type by this can be enlarged, and SQUID which can improve a SQUID property can be realized.

[0015] Moreover, it sets to the SQUID manufacture approach of this invention. In order to manufacture SQUID by which the Josephson junction was formed of the artificial grain boundary using an oxide superconductivity thin film, and was narrowly made in the width of face of the bridge 1 of the Josephson junction in two steps In the 2nd step after the bridge section which processes the Josephson junction section by the photolithography and has width of face w at the 1st step was formed The narrow part which has width of face d and die-length t is formed by etching and processing a flank middle by the convergence ion beam (FIB), without cooling to this bridge section.

[0016] Although these processes are explained in detail later By adoption of the 2nd step which does not cool a sample but carries out FIB processing especially according to the process which consists of such two steps As a result of carrying out micro processing of the bridge 1, often [ precision ] and easily, the junction width of face d of SQUID by this invention and die-length t can be made into the request range of  $0.2 \text{ micrometer} \leq d < 1 \text{ micrometer}$  and  $0.1 \text{ micrometer} \leq t < 2 \text{ micrometer}$ , and can realize SQUID which can operate by 77K.

[0017] In addition, only making bridge width of face of SQUID narrow to two steps itself is already known, as shown in JP,3-108782,A (Shimadzu) or JP,8-97474,A (Hitachi). However, the artificial grain boundary mold Josephson junctions, such as a level difference mold, are not used for these techniques, but they are negative rather.

[0018] For example, although the former technique (Shimazu) is narrowed by two steps in the bridge width of face of SQUID, it tends to obtain the desired weak coupling mold Josephson junction by exposing two or more crystal faces on a substrate front face, without processing the width of face of weak coupling narrowly physically, since weak coupling cannot be obtained only by making the vena contracta of a joint thin, without degrading membraneous quality. That is, it aims at not narrowing junction width of face physically, and is negative about application to the artificial grain boundary mold Josephson junctions, such as a level difference mold.

[0019] Moreover, although the latter technique (Hitachi) is also narrowed by two steps in the bridge width of face of SQUID, the interest has a thickness relation with the wiring section of the microbridge mold Josephson junction section chiefly, and is negative about application to the artificial grain boundary mold Josephson junctions, such as this, and a level difference mold, a bicrystal substrate mold. Furthermore, micro processing performed to a joint by this technique is a low value of [ unlike SQUID of this invention ] 0.1 micrometers in junction width of face.

[0020] On the other hand, the Josephson junction is the point applied to SQUID formed using artificial grain boundaries, such as a level difference mold, a bicrystal substrate mold, a BAIEPITAKISHARU mold, and a lamp edge mold, and this invention differs from these well-known techniques clearly, as mentioned above. That is, in this invention, in SQUID with the Josephson junction of such an artificial grain boundary mold, it is making to make junction width of face as small as possible into the main aim, and the structure and the production approach of suitable SQUID to realize this aim are offered.

[0021]

[The mode of implementation of invention] Hereafter, although an example explains this invention in more detail, it does not pass over the following indications in the mere example of this invention, and they do not restrict the technical range of this invention at all.

[0022]

[Example] SQUID equipped with the Josephson junction of a level difference mold is made into an example, the processing step of one example of the production approach of SQUID by this invention is shown in drawing 3, and the example of a configuration of the Josephson junction by one example of SQUID of this invention obtained according to the production approach of drawing 3 is shown in drawing 4.

[0023] In this example, Sr Ti O3 substrate which has 20mmx20mm size is prepared first. In order to enable it to

produce the artificial grain boundary 4 in the oxide superconductivity thin film 5 formed later, the level difference 6 of 0.15 micrometers is formed in this substrate of a photolithography and ion milling. Then, on this substrate, it is Ho1Ba2Cu 3O7-x as an oxide superconductivity thin film 5 by laser vacuum deposition. A thin film is thickness. It is formed by 0.2 micrometers.

[0024] Next, Ho1Ba2Cu 3O7-x formed on the substrate in the 1st step of bridge formation A usual photolithography and ion milling are given to a thin film 5, and the bridge section 7 which has the predetermined width of face w is formed in it. At this time, the Josephson junction part is presenting the configuration as shown in (a) of drawing 3.

[0025] Furthermore, in the 2nd step of bridge formation, without cooling a sample, to this bridge section 7, processing by the convergence ion beam (FIB) is performed, and the middle flank 8 of a bridge is removed by etching. As shown to (b) of drawing 3 by this, the narrow part 3 which has the predetermined width of face d and predetermined die-length t is formed.

[0026] As a result of the above process, it has the Josephson junction which has the artificial grain boundary 4 of a level difference mold as shown in drawing 4, and in the bridge 1 of this Josephson junction, width of face has become narrow to two steps, it has changed to the broad partial 2 list which has width of face w from the narrow part 3 which has width of face d and die-length t, and SQUID which has the artificial grain boundary 4 into the narrow part 3 is obtained.

[0027] the property in 77K of the sample obtained when the processing sizes w, d, and t were boiled variously and it changed is shown in Table 1.

[0028]

[Table 1]

サンプル番号 (摘要)	w [μm]	d [μm]	t [μm]	2 I c [μA]	R n/2 [Ω]	Vpp [μV]
0 (参考)	2	—	—	80	0.5	5
1 (例1)	2	0.5	0.5	20	2	11
2 (例2)	2	0.2	0.5	3	13	15
3	2	0.1	0.5	非超電導化		
4 (例3)	2	0.5	0.1	20	2	11
5 (例4)	2	0.5	1.5	20	2	11
6	2	0.5	2.0	5	5	9
7	2	0.5	5.0	非超電導化		

[0029] In Table 1, a sample number "0" shows the sample which omits FIB processing for the facilities of a property comparison.

[0030] To the result of the sample number "0" of Table 1, a sample number "1" and the result of "2" are compared, and it turns out that the modulation electrical potential difference Vpp becomes large, and the property is improving by FIB processing adopted by this invention so that clearly. On the other hand, since the sample of a sample number "3" made small width of face d of the Josephson junction too much, it has deteriorated in non-superconduction in 77K by the damage of the processing section circumference by the ion beam. Therefore, as for the width of face w of the Josephson junction, it is desirable to make it larger than 0.1 micrometers.

[0031] If die-length t of the narrow part 3 which will be processed if the result of sample-number "4" [ of Table 1 ] - "7" is seen is set to 2 micrometers or more, the property will have deteriorated too (a sample number "6", "7").

This will be considered that the damage of the processing section circumference by the ion beam is large if processing die-length t is set to 2 micrometers or more. Therefore, as for die-length t of the narrow part 3 to process, it is desirable to make it smaller than 2 micrometers.

[0032] If this processing die-length t is made smaller than 0.1 micrometers, it may become impossible moreover, to process the part of the artificial grain boundary 4 precisely. Therefore, as for this die-length t, it is desirable to make it 0.1 micrometers or more.

[0033] In addition, as an oxide superconductivity thin film 5, it is Ho1Ba2Cu 3O7-x at these examples. Although the

thin film is used, it is  $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-x}$ . Other rare earth system oxide superconductivity thin films, such as a thin film, can be used. Moreover, oxide superconductivity thin films, such as Bi system and Tl system, can also be used. [0034] Moreover, in these examples, although the substrate level difference mold artificial grain boundary is used as an artificial grain boundary, artificial grain boundaries, such as a bicrystal substrate mold artificial grain boundary, a BAIEPITAKISHARU mold artificial grain boundary, and a lamp edge mold artificial grain boundary, can be used. [0035]

[Effect of the Invention] Since the junction width of face of a request narrow enough can be obtained by making bridge width of face of the Josephson junction of an artificial grain boundary mold narrow to two steps according to this invention as explained above, SQUID which enlarged the modulation electrical potential difference and improved the property can be offered. Moreover, since micro processing is carried out by the convergence ion beam (FIB), without cooling by the approach of this invention, SQUID with such structure is easily [ often / precision / and ] realizable.

---

[Translation done.]

**\*\*NOTICES \***

JPO and NCIP are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\*\* shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

---

**DESCRIPTION OF DRAWINGS**

---

**[Brief Description of the Drawings]**

**[Drawing 1]** It is drawing explaining the artificial grain boundary mold Josephson junction by the conventional technique.

**[Drawing 2]** It is drawing which explains roughly the configuration of the Josephson junction in SQUID of this invention.

**[Drawing 3]** It is drawing for explaining the processing step of one example of the production approach of SQUID by this invention.

**[Drawing 4]** It is drawing showing the example of a configuration of the Josephson junction of SQUID by one example of this invention.

**[Description of Notations]**

F, 5 Oxide superconductivity thin film,

B, 1 Bridge,

A, 4 Artificial grain boundary,

2 Broad Part Which Has Width of Face W,

3 Narrow Part Which Has Width of Face D and Die-Length T,

6 Level Difference,

7 The bridge section from which the middle flank 8 is removed.

---

[Translation done.]

\* NOTICES \*

JPO and NCIPJ are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

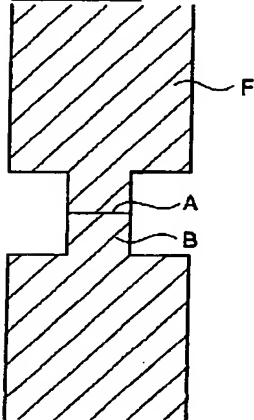
- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\*\* shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

---

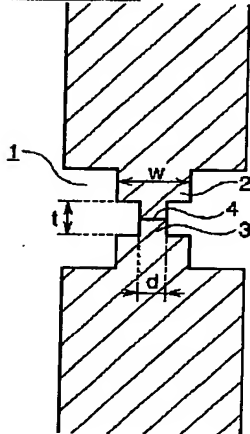
DRAWINGS

---

[Drawing 1]



[Drawing 2]



[Drawing 4]





**[Drawing 3]**



(a)



(b)

[Translation done.]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-294499

(43) 公開日 平成10年(1998)11月4日

(51) Int.Cl. <sup>6</sup>	識別記号	F I
H 0 1 L 39/22	Z A A	H 0 1 L 39/22 Z A A D
G 0 1 R 33/035	Z A A	G 0 1 R 33/035 Z A A
H 0 1 L 39/24	Z A A	H 0 1 L 39/24 Z A A J

審査請求 未請求 請求項の数5 F D (全 6 頁)

(21) 出願番号 特願平9-115354

(22) 出願日 平成9年(1997)4月17日

(71) 出願人 000002130

住友電気工業株式会社

大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号

(72) 発明者 久貝 裕一

兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友  
電気工業株式会社伊丹製作所内

(72) 発明者 系▲崎▼ 秀夫

兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友  
電気工業株式会社伊丹製作所内

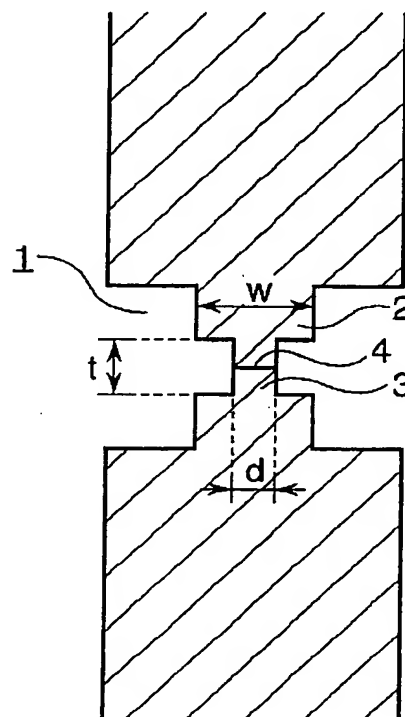
(74) 代理人 弁理士 岡部 恵行 (外1名)

(54) 【発明の名称】 S Q U I D およびその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 S Q U I D の人工粒界型ジョセフソン接合の幅を狭くすることができる S Q U I D の構造および製造方法の提供。

【解決手段】 本発明の S Q U I D は、ジョセフソン接合が酸化物超電導薄膜を用いた人工粒界により形成されている。このジョセフソン接合のブリッジ (1) は、幅が二段に狭くなっており、幅  $w$  ( $1\mu\text{m} \leq w \leq 50\mu\text{m}$ ) を有する幅広部分 (2)、並びに、幅  $d$  ( $0.2\mu\text{m} \leq d < 1\mu\text{m}$ ) 及び長さ  $t$  ( $0.1\mu\text{m} \leq t < 2\mu\text{m}$ ) を有する幅狭部分 (3) から成っている。この S Q U I D は、ジョセフソン接合部をフォトリソグラフィで加工してブリッジ部を形成する第1ステップ、並びに、冷却することなく、収束イオンビーム加工でブリッジ部をエッチングして幅狭部分を形成する第2ステップによって、作製される。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 ジョセフソン接合が酸化物超電導薄膜を用いた人工粒界により形成されており、ジョセフソン接合のブリッジの幅が二段に狭くなっていることを特徴とする SQUID。

【請求項 2】 前記ブリッジの幅広部分の幅を  $w$  とし、前記ブリッジの幅狭部分の幅を  $d$ 、長さを  $t$  としたとき、

$$1 \mu\text{m} \leq w \leq 50 \mu\text{m}$$

$$0.2 \mu\text{m} \leq d < 1 \mu\text{m}$$

$$0.1 \mu\text{m} \leq t < 2 \mu\text{m}$$

であることを特徴とする請求項 1 に記載の SQUID。

【請求項 3】 ジョセフソン接合が、段差型、バイクリスタル基板型、バイエピタキシャル型、ランブエッジ型などの人工粒界を使って形成されることを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の SQUID。

【請求項 4】 ジョセフソン接合が酸化物超電導薄膜を用いた人工粒界により形成される SQUID の製造方法において、

ジョセフソン接合部をフォトリソグラフィで加工して、所定の幅 ( $w$ ) を有するブリッジ部を形成する第 1 ステップ、及び、

前記加工されたブリッジ部に対して、冷却することなく、収束イオンビームで中間の側部をエッチングして加工することによって、前記幅より小さい所定の幅 ( $d$ ) を有する幅狭部分を形成する第 2 ステップを備えることを特徴とする SQUID の製造方法。

\*

$$V_{pp} = (7/\pi^2) [I_c R_n / (1+\beta)] [1 - 3.57 (k_B T/L) / \Phi_0] \quad (1)$$

ここで、 $I_c$  ; ジョセフソン接合の臨界電流、

$R_n$  ; ジョセフソン接合の常電導抵抗、

$k_B$  ; ボルツマン定数、

$T$  ; 温度、

$L$  ; SQUID のインダクタンス、

$\Phi_0$  ; 磁束量子、

$$\beta = 2L I_c / \Phi_0 .$$

【0004】 一般に、臨界電流  $I_c$  と常電導抵抗  $R_n$  との積  $I_c R_n$  を一定にして常電導抵抗  $R_n$  を大きくしたときに、変調電圧  $V_{pp}$  は大きくなる。従って、膜厚を一定としてジョセフソン接合の幅を狭くすれば、変調電圧  $V_{pp}$  が大きくなって特性が良くなる [ "Appl. Phys. Lett. 66 (22)" p.3059-3061 (1995, American Institute of Physics) ] 。

【0005】 このように、変調電圧  $V_{pp}$  が大きく特性が良好な所望の SQUID を得るには、ブリッジ幅を十分に狭くすること、典型的には、 $1 \mu\text{m}$  より小さくすることが必要になってくる。しかしながら、フォトリソグラフィによる酸化物超電導膜の微細加工では、人工粒界型ジョセフソン接合のブリッジ幅を  $1 \mu\text{m}$  より小さくすることは、きわめて困難である。

【0006】 そこで、微細な加工を行うことができる収

\*【請求項 5】 ジョセフソン接合が、段差型、バイクリスタル基板型、バイエピタキシャル型、ランブエッジ型などの人工粒界を使って形成されることを特徴とする請求項 4 に記載の SQUID の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、SQUID (Superconducting Quantum Interference Device : 超電導量子干渉素子) およびその製造方法に関し、より詳細には、ジョセフソン接合が酸化物超電導薄膜を用いた人工粒界により形成される SQUID およびその製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】 このタイプの SQUID は、通常、酸化物超電導薄膜を用いて、段差型、バイクリスタル基板型、バイエピタキシャル型、ランブエッジ型などの人工粒界を使ってジョセフソン接合を形成することにより作製される。また、このような人工粒界型のジョセフソン接合をもつ SQUID は、図 1 に示すように、酸化物超電導薄膜  $F$  を加工して、フォトリソグラフィなどの技術によって酸化物超電導薄膜  $F$  を加工して人工粒界  $A$  を含むブリッジ  $B$  を形成するのが一般的である。

【0003】 一方、SQUID の変調電圧  $V_{pp}$  は、例えば、"J. Appl. Phys 73 (11)" p.7929-7934 (1993, American Institute of Physics) に説明されているように、次の式で示されることが知られている：

東イオンビーム (FIB : Focused Ion Beam) を使用することが考えられる。例えば、"J. Vac. Technol. B 13 (6)" p.2772-2776 (1995, American Vacuum Society) には、この FIB によってブリッジ幅を狭くするように加工することが示されている。しかしながら、このブリッジに人工粒界はない。

【0007】 また、FIB を使用して微細加工を行うことにより、ブリッジ幅を  $1 \mu\text{m}$  より小さくすることは可能であるが、酸化物超電導膜の FIB 加工においては、従来は、薄膜のエッチング周辺部分の受けるダメージを少なくするために、薄膜サンプルを低温に下げて冷却した状態にしておく必要がある。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】 そこで、本発明の目的は、SQUID のジョセフソン接合の幅を狭くするのに FIB 加工を行うに際して、サンプルを冷却することなく、このジョセフソン接合の幅を  $1 \mu\text{m}$  より小さくすることができる SQUID の構造および製造方法を提供することにある。

【0009】

【課題を解決するための手段】 この目的のために、本発明によれば、ジョセフソン接合が酸化物超電導薄膜を用

いた人工粒界により形成されており、ジョセフソン接合のブリッジの幅が二段に狭くなっているSQUIDが提供される。

【0010】本発明により提供されるSQUIDは、典型的には、ブリッジの幅広部分の幅を $w$ とし、前記ブリッジの幅狭部分の幅を $d$ 、長さを $t$ としたとき、これらの範囲は、

$$1 \mu\text{m} \leq w \leq 50 \mu\text{m}$$

$$0.2 \mu\text{m} \leq d < 1 \mu\text{m}$$

$$0.1 \mu\text{m} \leq t < 2 \mu\text{m}$$

とするのが好ましい。

【0011】さらに、本発明に従うと、ジョセフソン接合が酸化物超電導薄膜を用いて人工粒界により形成されるSQUIDを製造するのに、ジョセフソン接合部をフォトリソグラフィで加工して、所定の幅( $w$ )を有するブリッジ部を形成する第1ステップ、及び、前記加工されたブリッジ部に対して、冷却することなく、収束イオンビームで中間の側部をエッチングして加工することによって、前記幅より小さい所定の幅( $d$ )を有する幅狭部分

を形成する第2ステップが用いられ、これらのステップによって、ジョセフソン接合のブリッジの幅が二段に狭くなっているSQUIDが得られる。

【0012】また、本発明のSQUIDでは、ジョセフソン接合が、段差型、バイクリスタル基板型、バイエビタキシャル型、ランプエッジ型などの人工粒界を使って形成される。

【0013】  
【発明の特徴】図2には、本発明のSQUIDの一実施例によるジョセフソン接合の形状が示されている。上述のように、本発明のSQUIDは、ジョセフソン接合が酸化物超電導薄膜を用いた人工粒界により形成される。つまり、ジョセフソン接合は、酸化物超電導薄膜を用いて、段差型、バイクリスタル基板型、バイエビタキシャル型、ランプエッジ型などの人工粒界を使って形成される。本発明のSQUIDでは、このような人工粒界型のジョセフソン接合をもつSQUIDにおいて、図2に示されるように、このジョセフソン接合のブリッジ1は、幅が二段に狭くなっており、幅 $w$ を有する幅広部分2並びに幅 $d$ 及び長さ $t$ を有する幅狭部分3から成っており、幅狭部分3に人工粒界4を有している。そして、これらの幅 $w$ 、 $d$ 及び長さ $t$ は、上述の範囲、即ち、

$$1 \mu\text{m} \leq w \leq 50 \mu\text{m}$$

$$0.2 \mu\text{m} \leq d < 1 \mu\text{m}$$

$$0.1 \mu\text{m} \leq t < 2 \mu\text{m}$$

とするのが好適である。

【0014】本発明のSQUIDにおいては、このようにジョセフソン接合のブリッジ1の幅を二段に狭くすることによって、接合幅 $d$ をできるだけ十分狭くし、例えば、 $1 \mu\text{m}$ より小さい接合幅のジョセフソン接合を得ることができ、これによって、(1)式に示されるSQUID

IDの変調電圧 $V_{pp}$ を大きくし、SQUID特性を向上することができるSQUIDを実現することができる。

【0015】また、本発明のSQUID製作方法においては、ジョセフソン接合が酸化物超電導薄膜を用いた人工粒界により形成され、ジョセフソン接合のブリッジ1の幅を二段に狭くなされたSQUIDを製造するために、第1ステップで、ジョセフソン接合部をフォトリソグラフィで加工して、幅 $w$ を有するブリッジ部が形成された後、第2ステップにおいて、このブリッジ部に対して、冷却することなく、収束イオンビーム(FIB)で中間の側部をエッチングして加工することによって、幅 $d$ 及び長さ $t$ を有する幅狭部分が形成される。

【0016】これらの工程については後で詳しく説明されるが、このような2ステップから成る工程によって、特に、サンプルを冷却せずFIB加工する第2ステップの採用によって、ブリッジ1が微細加工される結果、本発明によるSQUIDの接合幅 $d$ 及び長さ $t$ は、精度よく且つ容易に、 $0.2 \mu\text{m} \leq d < 1 \mu\text{m}$ 、 $0.1 \mu\text{m} \leq t < 2 \mu\text{m}$ の所望範囲とすることができ、77Kで動作することができるSQUIDを実現することができる。

【0017】なお、SQUIDのブリッジ幅を、単に、二段に狭くすること自体は、例えば、特開平3-108782号公報(島津製作所)や特開平8-97474号公報(日立製作所)に示されるように、既に知られている。しかしながら、これらの技術は、段差型などの人工粒界型ジョセフソン接合を使用しておらず、むしろ、否定的である。

【0018】例えば、前者の技術(島津)は、SQUIDのブリッジ幅を二段に狭められてはいるが、膜質を劣化させずに接合部のくびれを細くすることのみで弱結合を得ることはできないので、弱結合の幅を物理的に狭く加工することなく、基板表面に複数の結晶面を露出させることによって所望の弱結合型ジョセフソン接合を得ようとするものである。つまり、接合幅を物理的に狭くしないことを狙いとしており、また、段差型などの人工粒界型ジョセフソン接合への適用については、否定的である。

【0019】また、後者の技術(日立)も、SQUIDのブリッジ幅を二段に狭められてはいるが、その関心は、専ら、マイクロブリッジ型ジョセフソン接合部の配線部との膜厚関係にあり、これ又、段差型やバイクリスタル基板型などの人工粒界型ジョセフソン接合への適用については否定的である。さらに、この技術により接合部に施される微細加工は、本発明のSQUIDとは異なり、接合幅は、 $0.1 \mu\text{m}$ という低い値である。

【0020】これに対して、本発明は、前述したように、ジョセフソン接合が、段差型、バイクリスタル基板型、バイエビタキシャル型、ランプエッジ型などの人工粒界を使って形成されるSQUIDに適用される点で、これらの公知技術と明確に異なっている。つまり、本発

10

20

30

40

50

明では、このような人工粒界型のジョセフソン接合をもつSQUIDにおいて、接合幅をできるだけ小さくすることを主たる狙いにしており、この狙いを実現するのに好適なSQUIDの構造及び作製方法が提供される。

【0021】

【発明の実施の態様】以下、本発明を実施例によりさらに詳しく説明するが、以下の開示は本発明の単なる実施例に過ぎず、本発明の技術的範囲をなんら制限するものではない。

【0022】

【実施例】図3には、段差型のジョセフソン接合を備えるSQUIDを例にして、本発明によるSQUIDの作製方法の一実施例の加工ステップが示されており、図4には、図3の作製方法に従って得られる本発明のSQUIDの一実施例によるジョセフソン接合の形状例が示されている。

【0023】この実施例では、先ず、例えば20mm×20mmのサイズを有する $\text{SrTiO}_3$ 基板が用意される。この基板には、後で形成される酸化物超電導薄膜5中に人工粒界4を作製することができるようにするために、

\*【0024】次に、ブリッジ形成の第1ステップにおいて、基板上に形成された $\text{HfO}_2\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ 薄膜5には、通常的光リソグラフィ及びイオンミリングが施されて、所定の幅wを有するブリッジ部7が形成される。このとき、ジョセフソン接合部分は、図3の(a)に示されるような形状を呈している。

【0025】さらに、ブリッジ形成の第2ステップにおいて、サンプルを冷却することなく、このブリッジ部7に対して、収束イオンビーム(FIB)による加工が施されて、ブリッジの中間の側部8がエッチングによって除去される。これによって、図3の(b)に示されるように、所定の幅d及び所定の長さtを有する幅狭部分3が形成される。

【0026】以上の工程の結果、図4に示されるように、段差型の人工粒界4を有するジョセフソン接合を備え、このジョセフソン接合のブリッジ1は、幅が二段に狭くなっており、幅wを有する幅広部分2並びに幅d及び長さtを有する幅狭部分3から成っており、幅狭部分3に人工粒界4を有するSQUIDが得られる。

【0027】表1には、加工サイズw、d、tを種々に変化した場合に得られたサンプルの77Kにおける特性が示される。

【0028】

【表1】

サンプル番号 (摘要)	w [μm]	d [μm]	t [μm]	2Ic [μA]	Rn/2 [Ω]	Vpp [μV]
0 (参考)	2	—	—	80	0.5	5
1 (例1)	2	0.5	0.5	20	2	11
2 (例2)	2	0.2	0.5	3	13	15
3	2	0.1	0.5	非超電導化		
4 (例3)	2	0.5	0.1	20	2	11
5 (例4)	2	0.5	1.5	20	2	11
6	2	0.5	2.0	5	5	9
7	2	0.5	5.0	非超電導化		

【0029】表1において、サンプル番号“0”は、特性比較の便のため、FIB加工を行っていないサンプルを示す。

【0030】表1のサンプル番号“0”の結果に対して、サンプル番号“1”及び“2”の結果を比較して明らかのように、本発明により採用されるFIB加工によ

って、変調電圧Vppが大きくなり、特性が向上していることが分かる。これに対して、サンプル番号“3”のサンプルは、ジョセフソン接合の幅dを小さくし過ぎたため、イオンビームによる加工部周辺のダメージによって、77Kでは非超電導に劣化している。従って、ジョセフソン接合の幅wは、0.1μmより大きくすること

が望ましい。

【0031】表1のサンプル番号“4”～“7”の結果をみると、加工する幅狭部分3の長さ $t$ を $2\mu\text{m}$ 以上にすると、やはり、特性が劣化している（サンプル番号“6”，“7”）。これは、加工長さ $t$ を $2\mu\text{m}$ 以上にすると、イオンビームによる加工部周辺のダメージが大きくなっているものと考えられる。従って、加工する幅狭部分3の長さ $t$ は、 $2\mu\text{m}$ より小さくすることが望ましい。

【0032】また、この加工長さ $t$ を $0.1\mu\text{m}$ より小さくすると、人工粒界4の部分に精確に加工することができなくなる可能性がある。従って、この長さ $t$ は、 $0.1\mu\text{m}$ 以上にすることが望ましい。

【００３３】なお、酸化物超電導薄膜５としては、これらの実施例では、 $\text{Hf}_2\text{BaCu}_3\text{O}_{7-x}$  薄膜を用いているが、 $\text{Y}_1\text{BaCu}_3\text{O}_{7-x}$  薄膜など他の希土類系酸化物超電導薄膜を使用することができる。また、Bi系やTl系等の酸化物超電導薄膜を使用することもできる。

【００３４】また、これらの実施例では、人工粒界として基板段差型人工粒界を使っているが、バイクリスタル基板型人工粒界、バイエピタキシャル型人工粒界、ランブエッジ型人工粒界などの人工粒界を用いることができる。

【0035】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によると、＊

\* 人工粒界型のジョセフソン接合のブリッジ幅を二段に狭くすることによって、十分に狭い所望の接合幅を得ることができるので、変調電圧を大きくし特性を向上したSQUIDを提供することができる。また、このような構造をもつSQUIDは、本発明の方法によって、冷却することなく収束イオンビーム(FIB)により微細加工されるので、精度よく且つ容易に実現することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】従来技術による人工粒界型ジョセフソン接合を説明する図である。

【図２】本発明のＳＱＵＩＤにおけるジョセフソン接合の形状を概略的に説明する図である。

【図3】本発明によるSQUIDの作製方法の一実施例の加工ステップを説明するための図である。

【図４】本発明の一実施例によるＳＱＵＩＤのジョセフソン接合の形状例を示す図である。

【符号の説明】

F. 5 酸化物超電導薄膜、

B. 1 ブリッジ、

#### A. 4 人工粒界、

2 幅 $w$ を有する幅広部分、

3 幅 $d$ 及び長さ $t$ を有する幅狭部分、

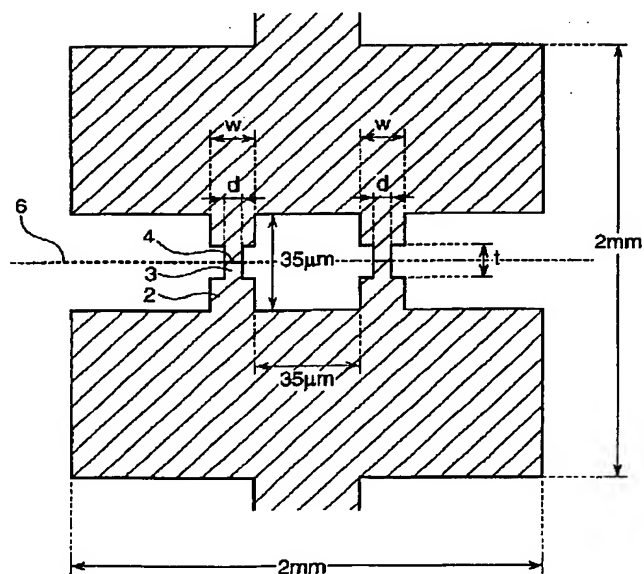
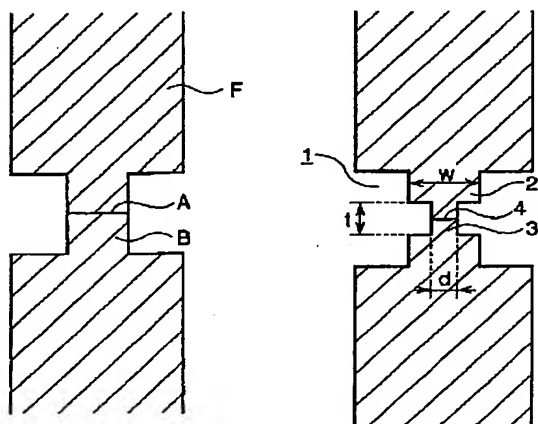
## 6 段差

7 中間の側部8が除去されるブリッジ部。

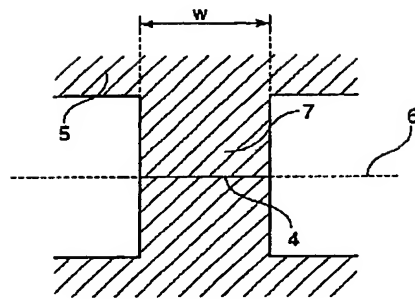
【圖 1】

【圖 2】

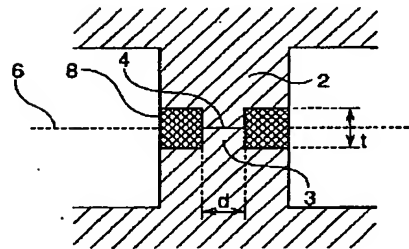
【図4】



【図3】



(a)



(b)

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

☒ BLACK BORDERS

☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES

☐ FADED TEXT OR DRAWING

☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING

☐ SKEWED/SLANTED IMAGES

☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS

☐ GRAY SCALE DOCUMENTS

☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT

☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY

☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**